

## WEST

 [Generate Collection](#) [Print](#)

L2: Entry 4 of 6

File: JPAB

Apr 2, 1992

PUB-NO: JP404101400A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 04101400 A

TITLE: INCIDENT ENERGY STABILIZER OF SYNCHROTRON

PUBN-DATE: April 2, 1992

## INVENTOR-INFORMATION:

NAME

COUNTRY

KANEKO, NAMIO

YAMAMOTO, MASASHI

## ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME

COUNTRY

ISHIKAWAJIMA HARIMA HEAVY IND CO LTD

APPL-NO: JP02216576

APPL-DATE: August 17, 1990

US-CL-CURRENT: 315/503

INT-CL (IPC): H05H 9/00; H05H 13/04

## ABSTRACT:

PURPOSE: To stabilize the output energy of a linear accelerator by automatically controlling the level or phase of a high frequency wave according to detection of the position and the size of a beam through a beam profile monitor.

CONSTITUTION: Beam energy is measured by detecting the deflecting position of a particle beam through a beam profile monitor 38. As the distribution of energy expands when the phases of the particle beam and high frequency wave do not coincide, the low energy portion of the particle beam having passed through a deflecting electromagnet 16 for measurement of energy is greatly deflected, and the high energy portion is slightly deflected, so that the size of the beam expands horizontally. Then, phase deflection between the particle beam and the high frequency wave is measured by detecting the beam size through a beam profile monitor 38; and a controller 56 automatically controls one or both of the level and phase of high frequency wave according to the above detection. It is thereby possible to correct the phase deflection between the particle beam and the high frequency wave and a change in beam energy so that the output energy of a linear accelerator 12 can be stabilized.

COPYRIGHT: (C)1992, JPO&amp;Japio

## ⑫ 公開特許公報 (A) 平4-101400

⑬ Int. Cl. 5

H 05 H 9/00  
13/04

識別記号

庁内整理番号

C

9014-2G  
9014-2G

⑭ 公開 平成4年(1992)4月2日

審査請求 未請求 請求項の数 1 (全8頁)

⑮ 発明の名称 シンクロトロン装置の入射エネルギー安定化装置

⑯ 特願 平2-216576

⑰ 出願 平2(1990)8月17日

⑱ 発明者 金子 七三雄 東京都江東区豊洲3丁目1番15号 石川島播磨重工業株式会社東京第二工場内

⑲ 発明者 山本 昌志 東京都江東区豊洲3丁目1番15号 石川島播磨重工業株式会社東京第二工場内

⑳ 出願人 石川島播磨重工業株式会社 東京都千代田区大手町2丁目2番1号

㉑ 代理人 弁理士 加藤 邦彦 外1名

## 明細書

## 1. 発明の名称

シンクロトロン装置の入射エネルギー  
安定化装置

## 2. 特許請求の範囲

複数の加速管を直列に配した線型加速装置の各加速管に高周波を供給して粒子ビームを加速して蓄積リングに入射するシンクロトロン装置において、

この線型加速装置の粒子ビーム出口側に配置されて、当該線型加速装置で加速された粒子ビームに磁場をかけて偏向させるエネルギー測定用偏向電磁石と、

前記エネルギー測定用偏向電磁石で偏向された粒子ビームのビームサイズおよびビーム位置を検出するビームプロファイルモニタと、

このビームプロファイルモニタによる検出結果に基づき前記加速管に供給する高周波のレベルま

たは位相の一方または両方を自動的に制御して所定ビームサイズおよび所定ビーム位置となるように制御する制御装置と

を具備してなるシンクロトロン装置の入射エネルギー安定化装置。

## 3. 発明の詳細な説明

## 〔産業上の利用分野〕

この発明は、シンクロトロン装置に関し、線型加速装置から蓄積リングへ入射する粒子ビームエネルギーの安定化を図ったものである。

## 〔従来の技術〕

近年、シンクロトロン装置は、シンクロトロン放射光 (SOR光) 装置として、超々LSI回路の作成、医療分野における診断、分子解析、構造解析等様々な分野への適用が期待されている。

シンクロトロン光装置の概要を第2図に示す。シンクロトロン光装置1において、電子発生装置(電子銃等)10で発生した電子ビームは線型加速装置(ライナック)12で光速近くに加速され、

ビーム始送部14の偏向電磁石16, 17で偏向されて、インフレクタ18を介してシンクロトロン20の蓄積リング22内に入射される。蓄積リング22に入射された電子ビームは高周波加速空洞21でエネルギーを与えられながら収束電磁石23で収束され、偏向電磁石24で偏向されて真空ダクト22内を周回し続ける。偏向電磁石24で偏向される時に発生するシンクロトロン放射光はビームチャンネル26を通して例えば露光装置28に送られて超々LSI回路作成用の光源等として利用される。

線型加速装置12は、複数の加速管13-1, 13-2, ……を直列に配して構成され、それぞれ外部から与えられる高周波により電場を発生し、電子ビームをこの電場による波乗り運動により加速する。

各加速管13-1, 13-2, ……は発生される電場と電子ビームの位相が一致するように相互に調整されているが、電源電圧変化等により位相等がずれると効果的に加速することができず、

解決して、出力エネルギーの安定化を図ったシンクロトロン装置の入射エネルギー安定化装置を提供しようとするものである。

#### 〔課題を解決するための手段〕

この発明は、複数の加速管を直列に配した線型加速装置の各加速管に高周波を供給して粒子ビームを加速して蓄積リングに入射するシンクロトロン装置において、この線型加速装置の粒子ビーム出口側に配置されて、当該線型加速装置で加速された粒子ビームに磁場をかけて偏向させるエネルギー測定用偏向電磁石と、前記エネルギー測定用偏向電磁石で偏向された粒子ビームのビームサイズおよびビーム位置を検出するビームプロファイルモニタと、このビームプロファイルモニタによる検出結果に基づき前記加速管に供給する高周波のレベルまたは位相の一方または両方を自動的に制御して所定ビームサイズおよび所定ビーム位置となるように制御する制御装置とを具備してなるものである。

#### 〔作用〕

線型加速装置12から出力される電子ビームエネルギーが次第に低下してくる。また、エネルギー分布も広がり、所望のエネルギーでのピーク状態が得られなくなる。また、高周波のエネルギー自体も電源電圧変化により変動する。

従来においては、このような電源電圧変化等による出力エネルギーの変動やエネルギー分布の広がりに対して、これを自動的に補償する機能は有しておらず、単に蓄積リングのへの入射電流を検出して、これが低下したならば加速管13-1, 13-2, ……に供給する高周波エネルギー及び位相調整しているだけであった。

#### 〔発明が解決しようとする課題〕

前述のように、従来においては電源電圧変化等による出力エネルギーの変化やエネルギー分布の広がりに対して、これを自動的に補償する機能を有していないため、線型加速装置の出力エネルギーは不安定であり、高周波エネルギーの利用効率が低く、出力最大エネルギーも徐々に変化していた。

この発明は、前記従来の技術における問題点を

この発明によれば、粒子ビームはエネルギー測定用偏向電磁石の磁界中を通過するときに、そのビームエネルギーに応じて偏向量が変わる。したがって、ビームプロファイルモニタで偏向位置を検出することにより、ビームエネルギーを計測することができる。また、粒子ビームと高周波の位相がずれるとエネルギー分布が広がるため、エネルギー測定用偏向電磁石を通過した粒子ビームはエネルギーが低い部分は大きく偏向され、エネルギーが高い部分は小さく偏向されて、ビームサイズは水平方向に広がる。したがって、ビームプロファイルモニタでビームサイズを検出することにより粒子ビームと高周波の位相ずれを計測することができる。

そして、制御装置は、これらの検出に基づいて高周波のレベルまたは位相の一方または両方を自動的に制御して、理想のビームサイズおよびビーム位置が得られるようにする。

これにより、粒子ビームと高周波の位相ずれおよびビームエネルギーの変動が修正されて、線型加速装置の出力エネルギーを安定化することができる。

なお、ビームプロファイルの検出は、型加速装置から蓄積リングへ至るビーム輸送部を利用して行なう（ビーム輸送部偏向電磁石をエネルギー測定用偏向電磁石に兼用する）ほか、ビームプロファイル検出用の系統をビーム輸送路とは別個に設けて検出することができる。

## 〔実施例〕

この発明を電子シンクロトロンに適用した一実例を第1図に示す。ここでは、蓄積リングのビーム輸送部を利用してビームプロファイルモニタを配置した場合について示しており、ビーム輸送部偏向電磁石をエネルギー測定用偏向電磁石に兼用している。

電子発生装置（電子錠等）10から発生した電子ビームは線型加速装置12で光速近くに加速され、ビーム輸送部14の偏向電磁石16, 17で偏向されてシンクロトロン20の蓄積リング22に入射される。線型加速装置12は、2本の加速管13-1, 13-2を直列に配設して構成されている。

れている。

ビームプロファイルモニタ38は、例えば第3図に示すように、ビーム輸送部真空ダクト40内のビーム33が通る位置にスクリーン42を進出、退出可能に配置する。スクリーン42には蛍光物質が塗布されており、ビームが衝突した位置で蛍光を発する。スクリーン42の側方にはカメラ（テレビカメラ等）34が配設され、スクリーン42上の蛍光を観測する。この観測を行なうため、スクリーン42はビーム軸に対してカメラ34の方向に適当な角度θだけ傾斜して配設されている。

スクリーン42はシンクロトロン蓄積リング22への電子ビームの入射時にはビーム軌道位置から退出して、電子ビームの通過の妨げとならないようにされる。入射に先だって行なわれる線型加速装置12の入射エネルギー調整時には、スクリーン42はビーム軌道位置に進出する。進出状態で、線型加速装置12から電子ビームを出射すると、スクリーン42の面のいずれかの部分に衝突し、その部分で蛍光を発する。そして、この位置

発振器30からは、高周波信号が発振される。この高周波信号Mは出力パワーが可変のクライストロン（大電力増幅器）32-1, 32-2で増幅され、導波管33-1, 33-2を介して加速管13-1, 13-2にそれぞれ供給される。

加速管13-1, 13-2内にはこの高周波信号Mにより電場が立ち、電子ビームと電場の位相が合っている場合には、電子ビームは電場の最も強い部分に乗せられ、波乗り運動により加速される。位相がずれてくると、電子ビームは電場の最も強い部分からずれた部分で加速されるので、加速効率が低下してくる。また、エネルギー分布も広がる。

導波管33-1, 33-2の途中には高周波信号Mの位相を変移させる移相器36-1, 36-2が配設されている。

ビーム輸送部14の途中（偏向電磁石16, 17の途中）には、偏向電磁石16で偏向された電子ビームのビームサイズやビーム位置を検出するためのビームプロファイルモニタ38が配設さ

およびサイズをカメラ34で観測することによりビームの所定の軌道からのずれやビームサイズを測定することができる。

スクリーン42は、例えば第4図に正面図で示すように、ガラス等の基板46に原点47（ビームの設計軌道位置）を中心に垂直方向および水平方向にけがき等で目盛48, 50を付して構成され、カメラ34で蛍光を発した部分52を電子ビーム位置として観測する。

第1図において、カメラ34で観測された画像信号は、画像処理装置54に送られ、ここで画像処理されてエネルギー分布が算出される。算出されたエネルギー分布情報は計算機56に送り込まれ、予め求められていた理想のエネルギー分布と比較される。そして、計算機56は計測値がこの理想値に一致するようにクライストロン32-1, 32-2の出力パワーを制御し、また移相器36-1, 36-2を移相制御する。

ここで、ビームプロファイルモニタ38の検出に基づくエネルギー分布の計測原理について説明す

る。第5図に示すように、電子ビームがエネルギー測定用偏向電磁石16の磁場中を運動する時の曲率半径は、運動量(エネルギー)に依存し、次の関係が成立つ。

$$P = \rho e B$$

$$E^2 - c^2 P^2 = m_0 c^2$$

ただし、P：電子の運動量

$\rho$ ：電子の曲率半径

B：偏向電磁石16の磁束密度

E：電子のエネルギー

$m_0$ ：電子の静止質量

c：真空中の光速度

これによれば、ビームエネルギーが高い場合は、電子ビームの曲率半径が大きくなり(すなわち偏向量が小さくなり)、ビームエネルギーが低い場合は、電子ビームの曲率半径が小さくなる(すなわち偏向量が大きくなる。)。したがって、偏向された電子をスクリーン42に衝突させて蛍光を発した位置や形状、サイズをカメラ34で観測することにより電子ビームのエネルギー状態を検出する

ことができる。

第6図は、カメラ34で観測されるスクリーン42上の電子ビームパターンを示したものである。(a)は電子ビームエネルギーが目標値にある理想状態で、電子ビームはスクリーン42の中心位置に衝突する。(b)は電子ビームエネルギーが目標値よりも高い方にずれた状態を示すもので、電子ビームはスクリーン42の中心位置から左側にずれた位置に衝突する。(c)は線型加速装置12において電子ビームの位相と高周波の位相がずれた状態で加速された場合のもので、エネルギー分布が広がるため、電子ビームは水平方向に広がってスクリーン42に衝突する。

第7図は、カメラ34の観測画像に基づく画像処理装置54によるエネルギー分布分析結果を示すものである。第7図(a)は第6図(a)の理想状態のときのエネルギー分布状態で、エネルギー幅および中心エネルギーが所定状態にある。第7図(b)は第6図(b)のビームエネルギーが高い方にずれた状態で、中心エネルギーがずれる。第7図(c)

は第6図(c)の電子ビームの位相と高周波の位相がずれた状態で、エネルギー幅が広がる。

このビームエネルギー分布分析結果に基づく計算機56によるビームエネルギー安定化制御を第8図のフローチャートに基づき説明する。

- ① はじめに、蓄積リング22への入射効率最大時のエネルギー分布のグラフを予め計算または実験により求めて計算機56に取込む。
- ② ビームプロファイルモニタ38のスクリーン42をビーム始送部真空ダクト40内のビーム軌道上に移動し、偏向電磁石16を励磁した状態で線型加速装置12から電子ビームを出射する。この時の偏向電磁石16の励磁量は、電子ビームが所定ビームエネルギーのときにスクリーン42の中心位置に衝突する偏向量が得られる値に設定する。カメラ34でスクリーン42上の画像を観測し、画像処理装置54でエネルギー分布を分析する。計算器56はこの分析結果を入力し、理想のエネルギー分布と比較する。
- ③ 比較の結果、中心エネルギーがずれている場合

は、クライストロン32-1, 32-2の電圧を制御して高周波パワーを自動調整する。

- ④ 高周波パワー調整の結果中心エネルギーが一致したら、今度はエネルギー幅を理想のエネルギー分布と比較する。
- ⑤ 比較の結果エネルギー幅が異なっている場合は、移相器36-1, 36-2を位相制御して、高周波信号Mの位相を自動調整する。
- ⑥ 位相調整の結果エネルギー幅が一致したら理想のエネルギー分布状態が得られたので、ビームエネルギー安定化制御を終了し、スクリーン42をビーム軌道から退避させて上記調整された状態で電子ビームを蓄積リング22へ入射する。これにより、電子ビームを安定かつ高効率に蓄積リング22に入射することができる。

#### 〔変更例〕

前記実施例では、蓄積リングへのビーム始送部を兼用してビームエネルギー検出を行なったが、ビームエネルギー検出用の経路を専用に設けることもできる。第9図はその一例を示すものである。

型加速装置12の延長上にはビーム輸送部14から分枝してビームエネルギー測定用経路58が見えられている。このビームエネルギー測定用経路58は、線型加速装置12の出口から直線状に延びる真空ダクト60を具え、偏向路62に連通している。偏向路62の端は閉塞されている。真空ダクト60と偏向路62との折曲部にはエネルギー測定用偏向電磁石64が配設されている。偏向電磁石64の下流には、ビームプロファイルモニタ38およびカメラ34が配設されている。

ビームエネルギーの測定および設定はシンクロトロンへの入射に先立って行なわれ、この時ビーム輸送部偏向電磁石16, 17は非励磁、エネルギー測定用偏向電磁石64は励磁とされ、線型加速装置12から出射される電子ビームは真空ダクト60を直進して、エネルギー測定用偏向電磁石64で偏向路62の方向に偏向されてビームプロファイルモニタ38およびカメラ34でビームサイズ、ビーム位置等が観測される。

また、前記実施例では移相器をクライストロン

の後段に配したが、前段に配してもよい。また、移送器を加速管ごとに設けずに、いずれか1つの加速管を基準として他の加速管についてのみ位相を制御することもできる。さらには、いずれの加速管にも移相器を設けずに、高周波パワー制御だけするようにしてある程度のビーム調整を行なうことができる。

また、前記実施例ではビームプロファイルモニタを蛍光スクリーンとカメラとで構成したが、スクリーン自体を多數の電極をマトリックス状に配して、各電極から信号線を引き出した構成として、ビームが衝突した位置の電極から得られる信号によりビームサイズ、位置を検出することもできる。このようにすればカメラは不要となる。

また、前記実施例では、この発明を電子ビーム用線型加速装置に適用した場合について説明したが、他の粒子ビーム用の線型加速装置にも適用することができる。

#### [発明の効果]

以上説明したように、この発明によれば、ビームプロファイルモニタによるビーム位置、サイズ検出に基づいて高周波のレベルまたは位相の一方または両方を自動的に制御して、理想のビームサイズおよびビーム位置が得られるようにしたので、粒子ビームと高周波の位相ずれおよびビームエネルギーの変動が修正されて、線型加速装置の出力エネルギーを安定化することができる。

ムプロファイルモニタによるビーム位置、サイズ検出に基づいて高周波のレベルまたは位相の一方または両方を自動的に制御して、理想のビームサイズおよびビーム位置が得られるようにしたので、粒子ビームと高周波の位相ずれおよびビームエネルギーの変動が修正されて、線型加速装置の出力エネルギーを安定化することができる。

#### 4. 図面の簡単な説明

第1図は、この発明の第1実施例を示すプロック図である。

第2図は、シンクロトロン装置の概要を示す平面図である。

第3図は、ビームプロファイルモニタの構成例を示す平面断面図である。

第4図は、第3図のスクリーン42の正面図である。

第5図は、ビームプロファイルモニタによるビームエネルギーの検出原理を示す図である。

第6図は、第1図のカメラ34による観測画像

を示す図である。

第7図は、第6図の観測画像に基づき分析されたビームエネルギー分布を示す図である。

第8図は、ビームエネルギー分布分析に基づくビーム安定化制御のフローチャートである。

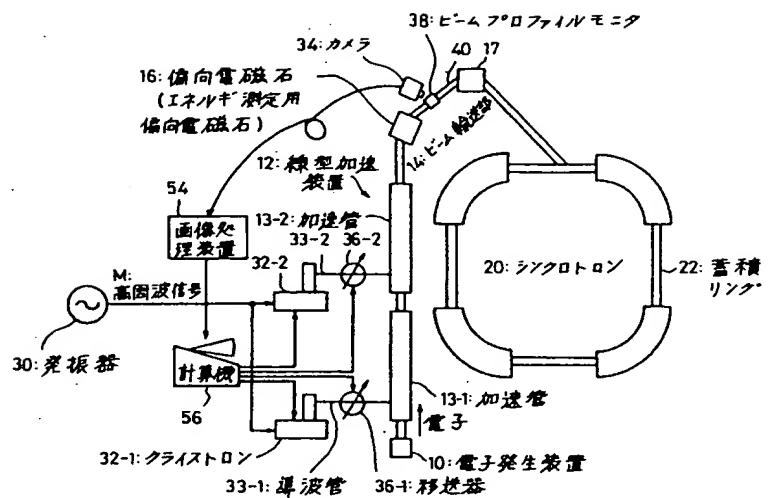
第9図は、この発明の他の実施例を示す平面図である。

12…線型加速装置、13-1, 13-2…加速管、22…蓄積リング、16, 64…エネルギー測定用偏向電磁石、38…ビームプロファイルモニタ、56…計算機（制御装置）。

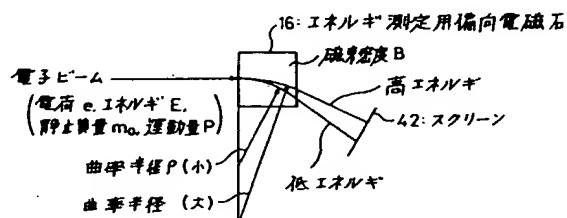
出願人 石川島播磨重工業株式会社

代理人 加藤邦彦  
(ほか1名)

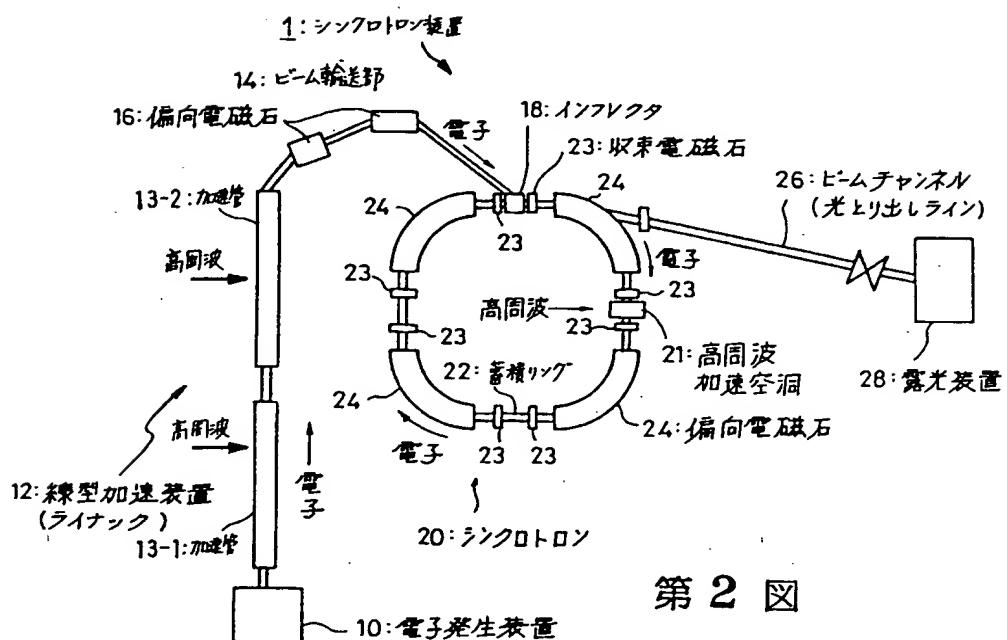




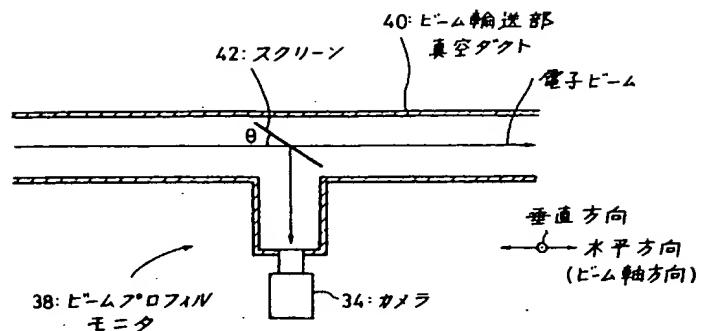
第1図



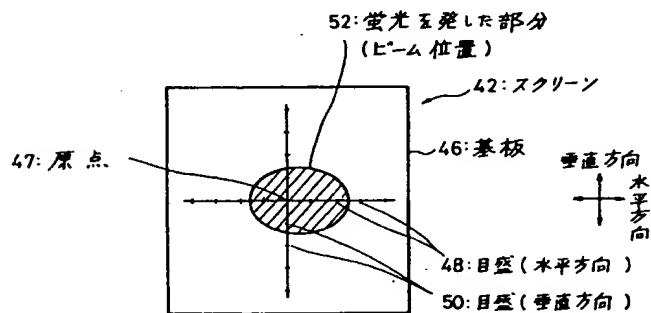
第5図



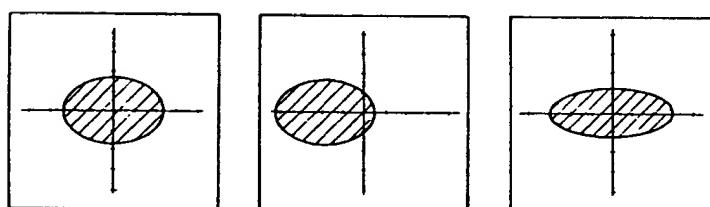
第2図



第3図

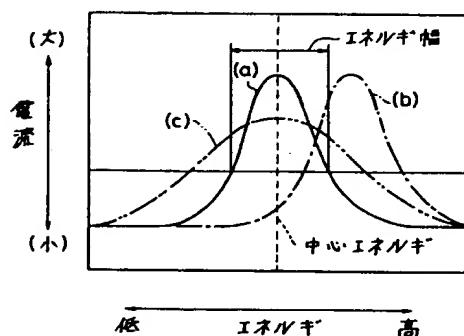


第4図

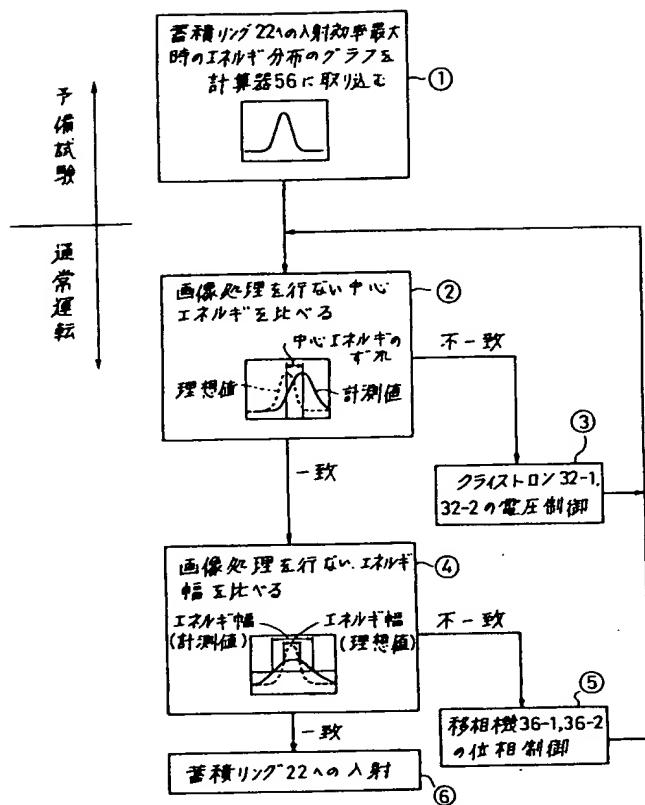


(a) 理想状態の画像 (b) エネルギーずれ状態の画像 (c) 位相ずれ状態の画像

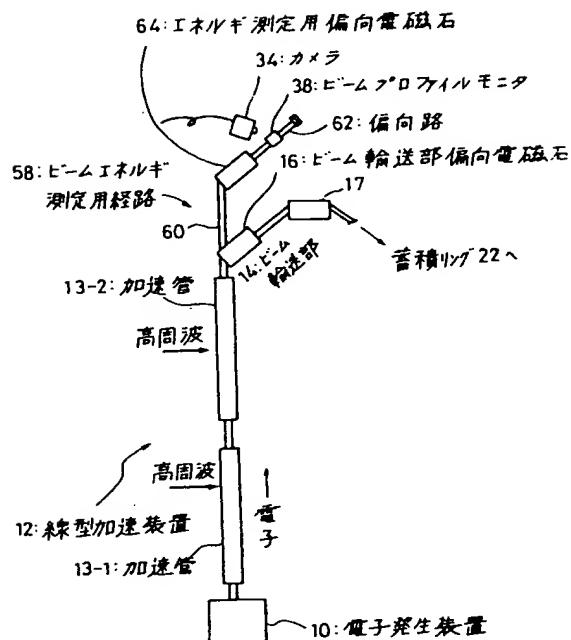
第6図



第7図



第 8 図



第 9 図